

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-074562

(43)Date of publication of application : 16.03.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01L 29/20

H01L 31/04

H01L 31/10

H01S 3/18

(21)Application number : 09-285406

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 17.10.1997

(72)Inventor : NAGAHAMA SHINICHI
NAKAMURA SHUJI

(30)Priority

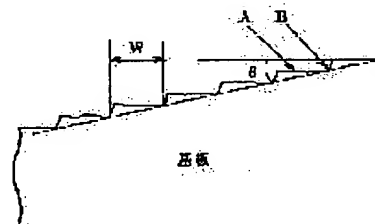
Priority number : 09174495 Priority date : 30.06.1997 Priority country : JP

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To lengthen the life of a nitride semiconductor element and improve the efficiency and output of the nitride semiconductor element, by laminating a nitride semiconductor layer of an element structure on an off-angled substrate formed stepwise in some stages with an angle of depression in terms of the vertical line.

SOLUTION: When a nitride semiconductor is grown on a stepped substrate having terrace parts A and step parts B, the steps are taken over by the nitride semiconductor being grown. At the time of growing an active layer, ruggedness due to the steps is generated on the active layer, and the active layer having the rugged region is in a quantum dot-like or quantum wire-like state. As the active layer of a quantum dot and a quantum wire can efficiently seal carriers, the output of the entire element improves. Namely, in the nitride semiconductor grown on the stepped substrate, the output improves as the quantum dot and the quantum wire can be intentionally formed on the active layer. A terrace width W is almost inevitable decided by the height of the step and an angle of depression θ .



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 14.08.2001

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection] 2001-16348

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection] 13.09.2001

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-74562

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月16日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

29/20

H 0 1 S 3/18

31/04

H 0 1 L 29/20

31/10

31/04

E

H 0 1 S 3/18

31/10

A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-285406

(22) 出願日 平成9年(1997)10月17日

(31) 優先権主張番号 特願平9-174495

(32) 優先日 平9(1997)6月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

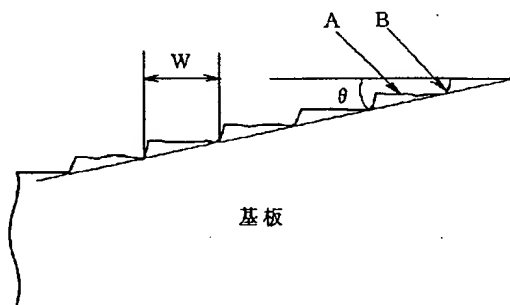
学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 窒化物半導体を成長させる基板を改良することによって窒化物半導体素子を長寿命、高効率、高出力とする。

【構成】 ステップ状にオフアングルした基板上に、素子構造となる窒化物半導体層が積層することにより、ステップの段差部分に成長させた活性層が量子ドット、量子ワイヤー構造となりやすいため素子の効率が向上する。好ましく活性層は In Ga N よりなる井戸層を有する S Q W、M Q W とすると In の組成不均一により量子ドット、ワイヤーになりやすい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ステップ状にオフアングルした基板上に、素子構造となる窒化物半導体層が積層されてなることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記窒化物半導体層中には、少なくともインジウムを含む窒化物半導体層を含む量子井戸構造の活性層を有することを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記ステップの段差が30オングストローム以下であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記基板は(0001)面を主面とするサファイアよりなり、オフ角はサファイア基板の主面から1度以内であることを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はLED（発光ダイオード）、SLD（スーパーluminescentダイオード）、LD（レーザダイオード）等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体（ $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$ ）素子に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号機等で最近実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造（SQW: Single-Quantum-Well）のInGa_{1-x}Nよりなる活性層が挟まれたダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長はInGa_{1-x}N活性層のIn組成比を増減することで決定されている。また、本出願人は、この材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した（例えば、Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)L74, Jpn. J. Appl. Phys. 35(1996)L217等）。このレーザ素子は、InGa_{1-x}Nを用いた多重量子井戸構造（MQW: Multi-Quantum-Well）の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2μs、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm²、410nmの発振を示す。また、本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。{例えば、日経エレクトロニクス 1996年12月2日号技術速報、Appl. Phys. Lett. 69(1996)3034、Appl. Phys. Lett. 69(1996)4056-等}、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6kA/cm²、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す。

【0003】上記LED素子、レーザ素子共に、窒化物

半導体の成長基板にはサファイアが用いられている。周知のようにサファイアは窒化物半導体との格子不整合が13%以上もあるため、この上に成長された窒化物半導体の結晶は結晶欠陥が非常に多い。また、サファイアの他に、ZnO、GaAs、Si等の基板を用いた素子も報告されているが、これらの基板も窒化物半導体に格子整合せず、サファイアに比べて結晶性の良い窒化物半導体が成長しにくいと、LEDでさえ実現されていない。

【0004】結晶性の良い窒化物半導体を成長させる技術として、例えばオフアングルしたサファイア基板上に窒化物半導体を成長させる技術が示されている。（例えば、特開平4-299876、特開平4-323880、特開平5-55631、特開平5-190903等）これらの技術は、連続的にオフアングルさせた基板を成長面とすることにより、GaNとサファイアとの原子間距離を接近させた状態として、結晶性の良い窒化物半導体を得ようとするものであるが、未だ実用化には至っていない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】窒化物半導体素子の出力、寿命等を数々の特性を向上させるためには、窒化物半導体と格子整合するGaN基板を用いると、結晶欠陥が少なく、結晶性の良い窒化物半導体が成長できることは予測されているが、GaN基板が工業的に存在しないため、サファイア、ZnO、スピネル等の窒化物半導体と異なる材料よりなる基板を用いて、出力、寿命等の向上が図られている。その中でサファイアが最も結晶性の良い窒化物半導体が成長できるため、実用化に至っているが、未だ窒化物半導体を成長させる基板としては満足できるものではなかった。本発明はこのような事情を鑑み成されたものであって、その目的とするところは、窒化物半導体を成長させる基板を改良することによって窒化物半導体素子を長寿命、高効率、高出力とすることにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】我々は基板上に窒化物半導体を成長させるにあたり、ステップ状にオフアングルした基板を用いることにより、活性層が量子ドット、量子ワイヤーに近いような状態となり、素子の寿命、出力が向上することを新規に見出し本発明を成すに至った。即ち、本発明の窒化物半導体素子は、ステップ状にオフアングルした基板上に、素子構造となる窒化物半導体層が積層されてなることを特徴とする。但し、ステップはある程度規則正しく形成されていることが望ましい。

【0007】好ましくは、窒化物半導体層中には、少なくともインジウムを含む窒化物半導体層を含む量子井戸構造の活性層を有することを特徴とする。Inを含む窒化物半導体は好ましくは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x \leq 1$ ）で構成する。量子井戸構造はSQW、MQWいずれでも良い。量子構造の場合、井戸層の膜厚は70オングスト

ローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下の膜厚に調整する。MQWの場合、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体よりなる障壁層の膜厚は特に限定しないが、通常は200オングストローム以下の膜厚で形成する。

【0008】さらに好ましくは、基板のステップの段差が30オングストローム以下であることを特徴とする。好ましい段差としては25オングストローム以下、さらに好ましくは20オングストローム以下にする。下限は2オングストローム以上が望ましい。2オングストロームよりも小さいと段差がほとんどない従来技術、つまり一定の角度でオフアングルした基板とほとんど変わらなくなってしまうため、出力の向上が望めない傾向にある。一方、30オングストロームよりも大きいと、結晶成長時に基板による段差のために、窒化物半導体層表面に凹凸が発生して出力が小さくなる傾向にある。

【0009】特に基板にサファイアを用いた場合、(0001)面(以下、C面という。)、を主面とし、オフ角 θ はサファイア基板のC面から1度以内であることを特徴とする。オフ角の好ましい範囲は0.8度以下、さらに好ましくは0.6度以下に調整する。下限としては特に限定しないが、0.01度以上に調整することが望ましい。1度を超えると窒化物半導体の結晶性が悪くなって、出力が低下する傾向にある。

【0010】

【発明の実施の形態】図1は本発明の窒化物半導体素子に用いられる基板の断面を拡大して示す模式図である。本発明の窒化物半導体素子はこのようにステップ状にオフアングル(傾斜)した基板上に成長される。基板は窒化物半導体以外の材料であれば特に限定されるものではなく、従来知られている例えばサファイア(C面、A面、R面を含む。)、スピネル、SiC(6H、4Hを含む。)、GaAs、Si、ZnO等が用いられる。またGaN基板が工業的にできれば、そのGaN基板を用いることもできる。

【0011】なぜステップ状にオフアングルした基板を用いると出力が向上するのかは定かではないが、例えば以下のようなことが推察される。段差のある基板上に窒化物半導体を成長させると、その段差は成長中の窒化物半導体にも受け継がれていく。そして活性層を成長させる際に、活性層にステップ段差による凹凸が発生し、その凹凸領域のある活性層が、量子ドット、量子ワイヤーのような状態となる。量子ドット、量子ワイヤーの活性層はキャリアを効率よく閉じ込めることができるので、素子全体の出力が向上する。特にInを含む窒化物半導体、例えば $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は、同一層内でIn組成の不均一が起きやすい傾向にある。そのためInを含む窒化物半導体よりなる膜厚70オングストローム以下の井戸層を有する活性層とすると、井戸層内でIn組成 x が大きいInリッチ領域と、In組成 x が小さいInブアー

領域とが混在したような状態となる。Inリッチ領域と、Inブアー領域とは井戸層内で量子ドット、若しくは量子ワイヤーを形成する。段差のある基板上部に意図的に成長させたInを含む井戸層は、段差部分でInリッチ領域を形成し、テラス部分でInブアー領域を形成して量子ドット、量子ワイヤーとなると推察される。つまりステップ状の基板上に成長させた窒化物半導体では、活性層に意図的に量子ドット、量子ワイヤーが形成できるために出力が向上する。従って、テラス幅が広すぎると量子ドット、量子ワイヤーの効果が現れにくい傾向にある。テラス幅に関してはステップの段差の高さと、オフ角 θ によっておよそ必然的に決定される(例えば、 $\tan\theta = \text{段差高さ} / \text{テラス幅}$)。

【0012】図1に示すステップ状にオフアングルした基板は、ほぼ水平なテラス部分Aと、段差部分Bとを有している。テラス部分Aの表面凹凸は平均でおよそ0.5オングストローム、最大でおよそ2オングストローム程度に調整され、ほぼ規則正しく形成されている。一方、段差部分の高さはおよそ15オングストローム程度に調整されている。なおオフ角 θ は誇張して示しているが、成長面の水平面に対して、 0.13° しか傾斜していない。このようなオフ角を有するステップ状部分は、基板全体に渡って連続して形成されていることが望ましいが、特に部分的に形成されていても良い。なおオフ角 θ とは、図1に示すように、複数の段差の底部を結んだ直線と、最上層のステップの水平面との角度を指すものとする。

【0013】このようなステップ状にオフアングルした基板上に窒化物半導体を成長させる。窒化物半導体の成長方法としては、例えばMOVPE(有機金属気相成長法)、MBE(分子線気相成長法)等の膜厚を厳密に制御できる成長法を用いる。これらの成長法は数オングストローム～数十オングストロームの膜厚の活性層を成長させて、量子構造を作製する場合に非常に有利である。

【0014】

【実施例】

【実施例1】オフアングル角 $\theta = 0.13^\circ$ 、ステップ段差およそ15オングストローム、テラス幅およそ56オングストロームのステップを有し、C面を主面とする2インチφのサファイア基板1を用意する。このサファイア基板上にMOVPE法を用いて、図2に示す窒化物半導体よりなるレーザ素子を作製する。

【0015】(n側コンタクト層2)前記サファイア基板1を反応容器内にセットし、500℃にてオフアングル面表面にGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させた後、温度を1050℃にしてSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層2を5μmの膜厚で成長させる。このn側コンタクト層2はAl混晶比 x 値が0.5以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 0.5$)を1～10μmの膜厚で成

長させることが望ましい。なお図1においてバッファ層は特に図示していない。

【0016】(クラック防止層3)次に800℃にして、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるクラック防止層42を500オングストロームの膜厚で成長させる。このクラック防止層3はInを含むn型の窒化物半導体、好ましくは InGaIn で成長させることにより、Alを含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。クラック防止層は100オングストローム以上、0.5 μm 以下の膜厚で成長させることが好ましい。100オングストロームよりも薄いと前記のようにクラック防止として作用しにくく、0.5 μm よりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。なお、このクラック防止層3は省略することもできる。

【0017】(n側クラッド層4)次に、1050℃にして、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープ(undope)の GaN よりなる第2の層、20オングストロームとを交互に100層積層してなる総膜厚0.4 μm の超格子構造とする。n側クラッド層4はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくは AlGaIn を含む超格子層とすることが望ましく、超格子層全体の膜厚を100オングストローム以上、2 μm 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1 μm 以下で成長させることが望ましい。超格子層にするとクラックのない結晶性の良いキャリア閉じ込め層が形成でき、さらに超格子層を構成する窒化物半導体層において、バンドギャップエネルギーが大きい方の層に不純物を高濃度にドープする、又は、バンドギャップエネルギーが小さい方の層に不純物を高濃度にドープする、変調ドープを行うと閾値が低下する傾向にある。また、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層との不純物濃度を等しくすることもできる。

【0018】(n側光ガイド層5)続いて、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 GaN よりなるn側光ガイド層74を0.1 μm の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層5は、活性層の光ガイド層として作用し、 GaN 、 InGaN を成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5 μm 、さらに好ましくは200オングストローム～1 μm の膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層5は通常はSi、Ge等のn型不純物をドープしてn型の導電型とするが、特にアンドープにすることもできる。超格子とする場合には第1の層及び第2の層の少なくとも一方にn型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0019】(活性層6)次に、800℃で、アンドープの $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる井戸層、25オングスト

ロームと、アンドープ $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる障壁層、50オングストロームを交互に積層してなる総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層6を成長させる。このように活性層の井戸層を例えば70オングストローム以下の量子構造とすることにより、ステップ基板の段差上において、量子箱、あるいは量子ワイヤー構造となって構造となって、高出力なレーザ素子が得られる。

【0020】(p側キャップ層7)次に、1050℃でバンドギャップエネルギーがp側光ガイド層8よりも大きく、かつ活性層6よりも大きい、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp側キャップ層7を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層7はp型不純物をドープした層としたが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型、若しくはアンドープとしても良く、最も好ましくはp型不純物をドープした層とする。p側キャップ層7の膜厚は0.1 μm 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1 μm より厚い膜厚で成長させると、p型キャップ層76中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。Alの組成比が大きい AlGaIn 程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、 γ 値が0.2以上の $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ であれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層76の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0021】(p側光ガイド層8)次に、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層7より小さい、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 GaN よりなるp側光ガイド層8を0.1 μm の膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層5と同じく GaN 、 InGaN で成長させることが望ましい。また、この層はp側クラッド層9を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム～5 μm 、さらに好ましくは200オングストローム～1 μm の膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドープしてp型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。なお、このp側光ガイド層を超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には第1の層及び第2の層の少なくとも一方にp型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0022】(p側クラッド層9)次に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第1の層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 GaN よりなる第2の層、20オングストロームとを交互に積層してなる総膜厚0.4 μm

の超格子層よりなるp側クラッド層9を成長させる。この層はn側クラッド層4と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、超格子構造とすることによりp型層側の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層9の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2 μ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1 μ m以下で成長させることが望ましい。特に超格子構造を有する窒化物半導体層をクラッド層とする場合、p層側に超格子層を設ける方が、閾値電流を低下させる上で、効果が大い。またn側クラッド層4のようにp型不純物を変調ドーピングすると、閾値が低下しやすい傾向にある。超格子層は、少なくともp側層にあることが好ましく、p側層に超格子層があるとより閾値が低下し好ましい。

【0023】量子構造の井戸層を有する活性層を有するダブルヘテロ構造の窒化物半導体素子の場合、活性層に接して、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きい膜厚0.1 μ m以下のA1を含む窒化物半導体よりなるキャップ層を設け、そのキャップ層よりも活性層から離れた位置に、キャップ層よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層を設け、そのp側光ガイド層よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層よりもバンドギャップが大きいA1を含む窒化物半導体を含む超格子層よりなるp側クラッド層を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層のバンドギャップエネルギーが大きいため、n層から注入された電子がこのキャップ層で阻止されるため、電子が活性層をオーバーフローしないために、素子のリーク電流が少なくなる。

【0024】(p側コンタクト層10)最後に、Mgを2 $\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga_{0.6}Nよりなるp側コンタクト層10を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層は500オングストローム以下、さらに好ましくは400オングストローム以下、200オングストローム以上に膜厚を調整すると、p層抵抗が小さくなるため閾値における電圧を低下させる上で有利である。

【0025】反応終了後、反応容器内において、ウェーハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層10と、p側クラッド層9とをエッチングして、4 μ mのストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0026】リッジ形成後、図2に示すように、リッジストライプを中心として、そのリッジストライプの両側に露出したp側クラッド層9をエッチングして、n電極13を形成すべきn側コンタクト層2の表面を露出させる。

【0027】次にリッジ表面の全面にNi/Auよりな

るp電極11を形成する。次に、図2に示すようにp電極11を除くp側クラッド層9、p側コンタクト層10の表面にSiO₂よりなる絶縁膜14を形成し、この絶縁膜14を介してp電極11と電気的に接続したpパッド電極12を形成する。一方先ほど露出させたn側コンタクト層2の表面にはWとAlよりなるn電極13を形成する。

【0028】電極形成後、ウェーハのサファイア基板の裏面を研磨して50 μ m程度の厚さにした後、サファイアのM面でウェーハを劈開して、その劈開面を共振面としたバーを作製する。一方、ストライプ状の電極と平行な位置でバーをスクライブで分離してレーザ素子を作製する。そのレーザ素子形状が図2である。なおこのレーザ素子を室温でレーザ発振させたところ、サファイアC面ジャストの基板面に成長させたレーザ素子と比較して、閾値電流密度、閾値電圧ともおよそ30%近く低下し、出力もおおよそ30%向上して、寿命は2倍以上に向上した。

【0029】[実施例2] オフアングル角 $\theta=0.7^\circ$ 、ステップ段差およそ10オングストローム、テラス幅Aおよそ820オングストロームのステップを有し、C面を主面とする2インチφのサファイア基板を用いる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものに比較して、閾値電流密度、閾値電圧でおよそ10%上昇し、出力、寿命でおよそ10%低下した。

【0030】[実施例3] 実施例1で用いたサファイア基板上に、実施例1と同様にして、Ga_{0.6}Nよりなるパッド層を200オングストローム成長させ、その上にSiを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGa_{0.6}Nよりなるn側コンタクト層4 μ mと、アンドープIn_{0.4}Ga_{0.6}NよりなるSQW構造の活性層20オングストローム、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるp側クラッド層0.2 μ m、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga_{0.6}Nよりなるp側コンタクト層0.1 μ mを順に成長させる。

【0031】成長後、実施例1と同様にしてアニーリングを行いp型層をさらに低抵抗化した後、p側コンタクト層側からエッチングを行い、n電極を形成すべきn側コンタクト層の表面を露出させる。そしてp側コンタクト層のほぼ全面にp電極、露出したn側コンタクト層の表面にn電極を形成した後、350 μ m角のチップにウェーハを分離してLED素子としたところ、従来のサファイアC面ジャストの基板に成長された従来のLED素子と比較して、20mAにおいてV_f(順方向電圧)が約20%低下し、出力がおおよそ30%向上した。

【0032】[実施例4] 実施例1において、n側クラッド層4成長時に、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGa_{0.6}Nよりなる第2の層を20オングストロームと、アンドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第1の層を20オ

ングストローム成長させて、このペアを100回成長させ、総膜厚 $0.4\mu\text{m}$ (4000 オングストローム)の超格子構造よりなるn側クラッド層4を成長させ、また、p側クラッド層9成長時に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたGa_{0.9}Nよりなる第2の層を20オングストロームと、アンドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる第1の層を20オングストローム成長させて、このペアを100回成長させ、総膜厚 $0.4\mu\text{m}$ (4000 オングストローム)の超格子構造よりなるp側クラッド層9を成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1とはほぼ同様に良好な結果が得られた。

【0033】

【発明の効果】本発明では、ステップ状にオフアングルした基板の上に窒化物半導体を成長させることにより、窒化物半導体素子の出力を向上させることができる。これはオフアングルした基板の上に成長された窒化物半導体の結晶性が向上することと共に、段差部分、即ち凹凸部にできるであろう活性層の量子ドット、量子ワイヤーの効果が存在すると推察される。なお本発明の実施例ではサファイア基板のみについて説明したが、本発明はサ

* 有する全ての基板について適用できることは言うまでもない。また本発明はレーザ素子、LED素子のような発光素子の他、太陽電池、光センサ等の受光素子、トランジスタのような窒化物半導体を用いたあらゆる電子デバイスに適用でき、その産業上の利用価値は大きい。

【図面の簡単な説明】

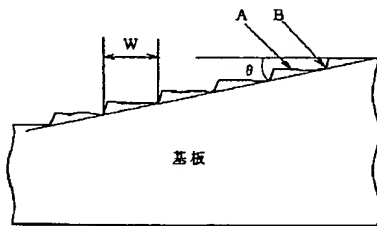
【図1】 本発明の窒化物半導体素子に用いられる基板の一部を拡大して示す模式断面図。

【図2】 本発明の一実施例に係る窒化物半導体レーザ素子の構造を示す斜視図。

【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・n側コンタクト層
- 3・・・クラック防止層
- 4・・・n側クラッド層
- 5・・・n側光ガイド層
- 6・・・活性層
- 7・・・p側キャップ層
- 8・・・p側光ガイド層
- 9・・・p側クラッド層
- 10・・・p側コンタクト層

【図1】



【図2】

